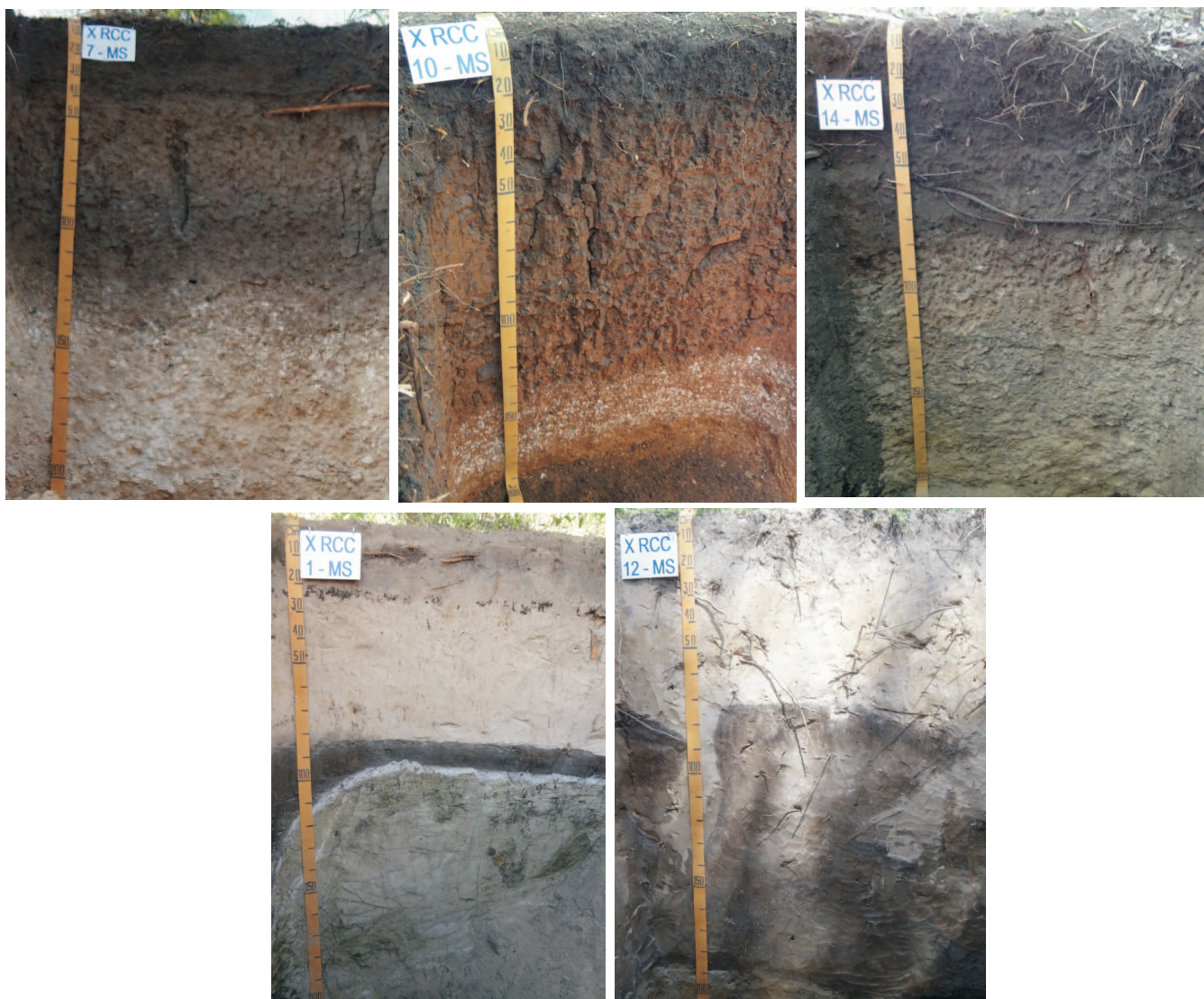


Matéria Orgânica e a Relação com os Solos da Reunião Brasileira de Classificação e Correlação: Pantanal e Cerrado do Estado do Mato Grosso do Sul



ISSN 1678-0892

Dezembro, 2013

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Embrapa Solos

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 226

Matéria Orgânica e a Relação com os Solos da Reunião Brasileira de Classificação e Correlação: Pantanal e Cerrado do Estado do Mato Grosso do Sul

Ademir Fontana

Lucas Pacheco dos Santos da Lomba

Stéfanni Ribeiro de Assis

Vinícius de Jesus Towesend

Isabela da Costa Ribeiro

Marcelle de Fátima da Silva

Rio de Janeiro, RJ

2013

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1024. Jardim Botânico. Rio de Janeiro, RJ
CEP: 22460-000
Fone: (021) 2179 4500
Fax: (021) 2274 5291
www.embrapa.br/solos
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê de Publicações da Embrapa Solos

Presidente: *Daniel Vidal Pérez*

Secretário-Executivo: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Membros: *Ademar Barros da Silva, Adriana Vieira de Camargo de Moraes, Alba Leonor da Silva Martins, Claudia Regina Delaia Machado, Joyce Maria Guimarães Monteiro, Maria Regina Capdeville Laforet, Maurício Rizzato Coelho, Quitéria Sonia Cordeiro dos Santos.*

Supervisão editorial: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Revisão de texto: *André Luiz da Silva Lopes*

Normalização bibliográfica: *Luciana Sampaio de Araujo*

Editoração eletrônica: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Capa: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

1ª edição

1ª impressão (2013): online

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Solos

Matéria orgânica e a relação com os solos da Reunião Brasileira de Classificação e Correlação : Pantanal e Cerrado do Estado do Mato Grosso do Sul / Ademir Fontana ... [et al.]. - Dados eletrônicos. - Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2013.

24 p. : il. color. - (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Solos, ISSN 1678-0892 ; 226).

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: <<https://www.embrapa.br/solos/publicacoes>>.

Título da página da Web (acesso em 20 dez. 2013).

1. Solo. 2. Horizonte. 3. Matéria orgânica. I. Fontana, Ademir. II. Lomba, Lucas Pacheco dos Santos da. III. Assis, Stéfanni Ribeiro de. IV. Towesend, Vinícius de Jesus. V. Ribeiro, Isabela da Costa. VI. Silva, Marcelle de Fátima da. VII. Embrapa Solos. VIII. Série.

CDD 631.4 (23. ed.)

© Embrapa 2013

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	9
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	13
Conclusão	19
Agradecimentos	19
Referências	19

Matéria Orgânica e a Relação com os Solos da Reunião Brasileira de Classificação e Correlação: Pantanal e Cerrado do Estado do Mato Grosso do Sul

Ademir Fontana¹

Lucas Pacheco dos Santos da Lomba²

Stéfanni Ribeiro de Assis²

Vinícius de Jesus Towesend²

Isabela da Costa Ribeiro³

Marcelle de Fátima da Silva²

Resumo

A matéria orgânica é um importante elemento para a separação e classificação de horizontes dos solos nos diversos sistemas taxonômicos, devido à relação com a morfologia, atributos químicos, físicos e mineralógicos. Este trabalho teve como objetivo avaliar os teores de carbono orgânico e as frações húmicas dos horizontes superficiais e subsuperficiais dos solos da X Reunião Brasileira de Classificação e Correlação. Foram selecionados perfis e nestes, horizontes superficiais e subsuperficiais que identificam as classes de solo. Em amostras de terra, foram determinados os teores do carbono orgânico do solo e das frações húmicas. A fração humina predominou, seguido da fração ácidos húmicos nos pedoambientes Salina e Capão (sedimentos arenosos e calcário), enquanto, para os demais pedoambientes a fração humina é seguida da fração ácidos fúlvicos. Exceção com o predomínio das frações

¹ Engenheiro agrônomo, doutorado em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

² Graduando em Engenharia Ambiental, Universidade Severino Sombra. Praça Martinho Nobrega, 40 - Centro, Vassouras. CEP: 27 700-000.

³ Tecnólogo em Meio Ambiente, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro Rua Pereira de Almeida, 88. Praça da Bandeira, Rio de Janeiro. CEP: 20 260-100.

alcalinosolúveis no horizonte A2 do perfil MS03 (Capão) e horizontes A2 e Bw1 do perfil MS17 (Planalto). Com base na distribuição das frações húmicas não foi detectado acúmulo das frações alcalinosolúveis para os horizontes subsuperficiais caracterizados como Bh dos perfis MS01 e MS12 (Salina).

Termos para indexação: horizontes de solo, carbono orgânico, frações húmicas, pedogênese.

Organic Matter and the Relation with Soils of the Brazilian Meeting of Classification and Correlation: Pantanal and Planalto from Mato Grosso do Sul State

Abstract

Organic matter is an important element for the separation and classification of soil horizons in different taxonomic systems, because of the relationship with the morphology, chemical, physical and mineralogical. The study aimed to evaluate the organic carbon tenors and the humic fractions of surface and subsurface horizons of soil from X Brazilian Meeting of Classification and Correlation. Profiles were selected and these surface horizons and subsuperficias that identify the soil classes. In soil samples, tenors of soil organic carbon and humic fractions were determined. The humin fraction predominated, followed by humic acid fraction in Salina and Capão pedoenvironments (sandy sediments and limestone), while for the other pedoenvironments the humin fraction is then fulvic acid fraction. Exception to the predominance of alkalisoluble fractions in the horizon A2 (profile MS03 – Capão) and horizons A2 and Bw1 (profile MS17 – Planalto). Based on the humic fractions distribution was not detected accumulation of alkalisoluble fractions for subsurface horizons characterized as Bh of MS01 and MS12 profiles (Salina).

Index terms: soil horizons, organic carbon, humic fractions, pedogenesis.

Introdução

A matéria orgânica é um importante elemento para a separação e a classificação dos horizontes de solos nos diversos sistemas taxonômicos. No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (SANTOS et al., 2013a), o teor de carbono orgânico é usado como critério de distinção entre solos minerais e orgânicos. Ademais, sua importância nos solos se deve à relação com os processos de formação e especificamente com a morfologia (cor e estrutura), com os atributos químicos (capacidade de troca de cátions), físicos (agregação e retenção de água) e mineralógicos (tipo e cristalinidade de minerais secundários) (BUOL et al., 1980; DUCHAUFOUR, 1977; EHRLICH, 1990; FANNING; FANNING, 1990; KÄMPF; SCHWERTMANN, 1983; PEREIRA; ANJOS, 1999).

Com o avanço dos estudos da Ciência do Solo na direção do entendimento da formação dos solos e sua relação com a capacidade produtiva, as avaliações específicas e mais detalhadas do componente orgânico são fundamentalmente importantes, uma vez que a análise dos teores de carbono orgânico limita-se a forma quantitativa global. Desta forma, a obtenção e avaliação das frações húmicas que compõem a matéria orgânica dos solos permitirá visualizar as relações com funções específicas e processos fundamentais, além da relação pedogenética como fator de formação.

As frações húmicas são obtidas a partir da análise do fracionamento químico da matéria orgânica do solo, sendo: fração ácidos fúlvicos – solúvel em qualquer valor de pH da solução; fração ácidos húmicos – solúvel em meio alcalino e insolúvel em meio ácido diluído e; fração humina – insolúvel e que permanece ligada a matriz mineral do solo (STEVENSON, 1994). As frações ácidos fúlvicos e ácidos húmicos, obtidas do extrato alcalino, recebem a denominação de frações alcalinosolúveis.

Pela separação das frações húmicas, pode-se obter dados quantitativos, que dizem respeito ao teor de carbono orgânico de cada uma das frações; dados participativos, que se referem à porcentagem de cada fração ao carbono orgânico do solo e; dados qualitativos, com a razão entre frações

alcalinosolúveis, a qual destaca a mobilidade ou potencial de perda do carbono no solo e, a razão entre frações alcalinosolúveis e fração humina, que indica o potencial de estabilidade e/ou iluviação de matéria orgânica (BENITES et al., 2001; FONTANA et al., 2010).

Segundo a revisão apresentada por Anjos et al. (2008), as diferenças observadas com os componentes relacionados às frações húmicas podem expressar variações pedogenéticas e relações relevantes com o uso e o manejo dos solos. Trabalhos tem destacado a utilização das frações húmicas na classificação taxonômica do 5º e 6º níveis categóricos do SiBCS (FONTANA et al., 2011; VALLADARES et al., 2003). Sua utilização é justificada pela capacidade de indicar estabilidade da matéria orgânica nos horizontes superficiais minerais ou iluviação da matéria orgânica nos horizontes subsuperficiais (BENITES et al., 2001; FONTANA et al., 2010).

Como os solos do estado do Mato Grosso do Sul ainda carecem de estudos que possam considerar suas particularidades pedogenéticas, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os teores de carbono orgânico e as rações húmicas dos horizontes superficiais e subsuperficiais dos solos da X Reunião Brasileira de Classificação e Correlação.

Material e Métodos

A área de estudo contempla a região do Pantanal, Corumbá, Bodoquena e do planalto de Campo Grande, no estado do Mato Grosso do Sul. Foram selecionados horizontes superficiais e subsuperficiais contrastantes e com os maiores teores de carbono orgânico em cada região, os quais fizeram parte da X Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (Pantanal e Cerrado), realizada no ano de 2012 (Tabela 1). A denominação dos horizontes seguiu o manual de coleta e descrição de solos no campo (SANTOS et al., 2013b).

Tabela 1. Pedoambiente, características gerais, atributos físicos e químicos dos solos da X RCC.

Pedoambiente	Região	Material Origem	Drenagem	Vegetação	Perfil	Hor	AT	Argila	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Na ⁺	Al ³⁺	CaCO ₃
							g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹
Salina	Pantanal	SA e SAA	Imperfeitamente Drenado	CT	MS01	A1	814	40	4,8	0,01	0,0	-
						A2	900	40	2,8	0,01	0,0	-
						Bhn	909	60	2,4	0,55	0,0	-
Salina	Pantanal	SA e SAA	Imperfeitamente Drenado	CT	MS02	A2	599	102	5,1	0,01	0,1	-
Salina	Pantanal	SA	Imperfeitamente Drenado	CT	MS12	Btn1	380	352	9,0	1,12	0,0	-
						A1	843	40	4,3	0,07	0,0	-
						A2	890	40	3,0	0,01	0,1	-
Capão	Pantanal	SA	Fortemente Drenado	FTC	MS03	Bhn	885	60	3,2	0,93	0,0	-
						A1	932	40	2,5	0,01	0,0	-
						A2	916	40	0,8	0,01	0,0	-
Capão	Pantanal	SAC	Bem Drenado	FTC	MS14	A3	923	40	0,9	0,01	0,0	-
						Ak1	541	169	23,0	0,01	0,0	111
						Ak2	533	210	19,6	0,01	0,0	115
Corumbá	Corumbá	Calcário	Moderadamente Drenado	FTC	MS07	Ak3	583	188	18,5	0,01	0,0	148
						Ak4	728	105	18,1	0,10	0,0	156
						Akp1	568	250	26,3	0,06	0,0	60
Corumbá	Corumbá	Calcário	Moderadamente Drenado	FTC	MS10	A2	557	270	28,6	0,02	0,0	20
						Biv1	580	249	23,3	0,09	0,0	14
						A1	317	317	36,6	0,07	0,0	33
Inundável	Pantanal	SAA	Mal Drenado	FTC	MS09	A2	393	336	36,0	0,06	0,0	-
						Bv1	328	444	35,8	0,07	0,1	-
						2Bgn1	487	249	20,6	2,53	0,0	-
Inundável	Pantanal	SAA	Imperfeitamente Drenado	CT	MS13	A1	225	382	34,7	0,23	0,1	-
						A2	336	357	29,2	0,33	0,1	-
						A1	430	123	11,5	0,06	0,0	-
Bodoquena	Bodoquena	Calcário	Bem Drenado	FTS	MS15	A2	601	143	8,3	0,13	0,1	-
						Btg1	391	335	23,2	0,44	0,0	-
						Ap	166	576	13,1	0,01	0,1	-
Planalto	Planalto	Arenito	Acentuadamente Drenado	CTS	MS17	A2	160	595	9,4	0,01	0,3	-
						Bt1	124	741	6,1	0,01	0,9	-
						A1	884	100	2,0	0,01	0,5	-
Planalto	Planalto	Basalto	Acentuadamente Drenado	CTS	MS18	A2	890	100	1,0	0,01	0,6	-
						Bw1	845	141	1,2	0,01	0,5	-
						A1	446	332	5,5	0,04	0,0	-
						A2	494	414	2,0	0,03	0,2	-
						Bw1	451	477	0,8	0,03	0,0	-

⁽¹⁾ SA = sedimento arenoso; SAA = sedimento arenoargiloso; SAC = sedimento arenoso com calcário; CT = campo tropical; FTC = floresta tropical caducifólia; FTS = floresta tropical subcaducifólia; CTS = cerrado tropical subcaducifólio; Hor = horizonte; Prof = profundidade; AT = areia total.

O Pantanal, representado pela planície sedimentar, submetida a inundações periódicas; Corumbá, caracterizada com uma ilha na planície inundável, com formações calcárias, vegetação de floresta caducifólia e relevo plano a suave ondulado; Bodoquena, com as formações calcárias, relevo colinoso, constituindo uma transição para o planalto; planalto de Campo Grande, com solos de maior grau de desenvolvimento pedológico sobre formações basálticas e areníticas (AB'SABER, 1988, 2003; ALMEIDA; LIMA, 1959).

O clima na região da região do Pantanal, Corumbá e Bodoquena, segundo a classificação de Köppen, é o Aw (clima úmido) e Bw (clima semiárido), com temperatura média de 25°C enquanto na região do planalto de Campo Grande é o Aw, com temperatura média de 20°C. A precipitação pluviométrica na região do Pantanal, Corumbá e Bodoquena é de 800 a 1.200 mm e com período de insuficiência de chuvas de 6 a 8 meses, enquanto na região do planalto de Campo Grande entre 1.400 e 1.600 mm e com período de insuficiência de chuvas de 5 a 6 meses (ABRAHÃO FILHO, 2010; BRASIL, 1997).

Foram selecionados atributos físicos e químicos que possivelmente apresentem relações com a dinâmica da matéria orgânica de cada horizonte e perfil (Tabela 1). Quanto aos atributos físicos foi selecionado a granulometria (areia grossa, areia fina, silte e argila) e, aos químicos, cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e Al^{3+}), carbono orgânico, equivalente carbonato de cálcio (CLAESSEN, 1997). Ambos os dados, foram compilados do Guia de Campo da X Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2012).

As frações húmicas foram obtidas de acordo com a solubilidade da matéria orgânica em meio alcalino, ácido e insolúvel, seguindo-se o método proposto por Benites et al. (2003). A quantificação do carbono orgânico nas frações húmicas seguiu a metodologia de Yeomans e Bremner (1988). Foram determinadas as seguintes variáveis: a) carbono orgânico das frações húmicas: fração ácidos fúlvicos (C-FAF), fração ácidos húmicos (C-FAH) e fração humina (C-HUM); b) porcentagem em relação ao carbono orgânico do solo: FAF, FAH e HUM; c) razão entre frações: FAH/FAF e EA/HUM (EA = FAF + FAH).

A análise dos dados iniciou com o agrupamento dos solos de forma a considerar o ambiente de ocorrência (pedoambiente), principalmente o material de origem, a drenagem e a vegetação, seguido com a estatística descritiva e a correlação de Pearson.

Resultados e Discussão

Os solos avaliados apresentam teores de C org nos horizontes superficiais entre 1,1 e 49,3 g kg⁻¹ (MS03 e MS14, respectivamente), e os horizontes subsuperficiais entre 1,0 e 8,6 g kg⁻¹ (MS17 e MS15, respectivamente) (Tabela 2). Os maiores teores de C org nos horizontes superficiais estão relacionados ao solo desenvolvido sobre sedimento arenoso com calcário (Capão) e os menores em solos sobre sedimentos arenosos ou arenito (Planalto e Capão). Nos horizontes subsuperficiais, os maiores teores estão relacionados aos solos sobre calcário e basalto (Bodoquena e Planalto), enquanto, os menores teores sobre sedimentos arenosos ou arenito (Salina e Planalto).

Quanto à distribuição das frações húmicas, observa-se que os solos do pedoambiente Salina e Capão apresentam o predomínio do C-HUM, seguido do C-FAH, enquanto, para os demais pedoambientes o C-HUM, seguido do C-FAF (Tabela 2). O predomínio da fração humina, principalmente, pode ser observado pelos valores da relação EA/HUM, na maioria inferior a 1,0 (Tabela 2). Exceção a este padrão é com o predomínio das frações alcalinosolúveis, o horizonte A2 (MS03 – Capão) e horizontes A2 e Bw1 (MS17 – Planalto).

Tabela 2. Carbono orgânico e a distribuição das frações húmicas dos solos da X RCC.

Pedoambiente	Perfil	Horizonte	g kg ⁻¹				%				EA/HUM
			C org	C-FAF	C-FAH	C-HUM	FAF	FAH	HUM	FAH/FAF	
Salina	MS01	A1	7,8	0,9	1,2	5,9	12	15	76	1,3	0,4
		A2	4,9	0,2	1,0	3,2	4	20	65	5,0	0,4
		Nódulo	1,4	0,2	0,0	0,7	14	0	50	-	0,3
		Bhn	2,2	0,2	0,3	1,5	9	14	68	1,5	0,3
Salina	MS02	A2	14,6	1,0	5,2	8,3	7	36	57	5,2	0,7
		Btn1	1,2	0,0	0,2	1,5	0	17	125	-	0,1
Salina	MS12	A1	7,4	1,0	2,2	7,2	14	30	97	2,2	0,4
		A2	4,9	0,7	0,9	3,8	14	18	78	1,3	0,4
		Bhn	1,2	0,0	0,1	1,1	0	8	92	-	0,1
Capão	MS03	A1	5,8	0,3	1,4	2,4	5	24	41	4,7	0,7
		A2	1,1	0,5	0,6	0,1	45	55	9	1,2	11,0
		A3	1,3	0,6	0,9	0,0	46	69	0	1,5	-
Capão	MS14	Ak1	49,3	2,6	2,9	18,8	5	6	38	1,1	0,3
		Ak2	39,8	1,7	2,6	16,2	4	7	41	1,5	0,3
		Ak3	30,2	1,0	1,4	12,6	3	5	42	1,4	0,2
		Ak4	25,7	0,8	0,8	10,4	3	3	40	1,0	0,2
Corumbá	MS07	Akp1	12,5	0,8	0,2	12,0	6	2	96	0,3	0,1
		A2	10,5	0,2	0,1	11,0	2	1	105	0,5	0,0
		Biv1	5,7	0,0	0,0	5,6	0	0	98	-	-
Corumbá	MS10	A1	32,6	1,2	1,6	18,0	3	5	52	1,3	0,2
		A2	19,1	0,9	0,4	9,4	4	2	47	0,4	0,1
		Bv1	4,3	0,3	0,1	3,9	7	2	87	0,3	0,1
Inundável	MS09	A1	31,3	0,0	1,8	16,1	0	5	48	-	0,1
		A2	15,3	1,7	0,5	7,7	11	3	48	0,3	0,3
		2Bgn1	3,4	0,6	0,1	2,5	17	3	71	0,2	0,3
Inundável	MS13	A1	23,6	1,6	3,1	18,8	7	13	80	1,9	0,3
		A2	6,6	0,5	0,4	3,4	8	6	52	0,8	0,3
		Btg1	4,3	0,1	0,1	4,9	2	2	114	1,0	0,0
Bodoquena	MS15	Ap	19,8	2,6	3,2	8,6	13	16	43	1,2	0,7
		A2	14,9	2,7	2,3	6,5	18	15	44	0,9	0,8
		Bt1	8,6	1,9	1,7	6,9	22	20	80	0,9	0,5
Planalto	MS17	A1	6,0	1,2	1,5	4,5	20	25	75	1,3	0,6
		A2	2,5	1,1	1,0	1,8	44	40	72	0,9	1,2
		Bw1	1,0	0,7	0,5	0,4	70	50	40	0,7	3,0
Planalto	MS18	A1	24,3	4,5	3,6	7,9	19	15	33	0,8	1,0
		A2	13,8	4,3	1,8	7,3	31	13	53	0,4	0,8
		Bw1	8,5	1,8	0,6	2,9	21	7	34	0,3	0,8

C org = carbono orgânico; C-FAF: carbono da fração ácidos fúlvicos; C-FAH: carbono da fração ácidos húmicos; C-HUM: carbono da fração humina; EA: extrato alcalino (C-FAF + C-FAH).

Diante dos teores de C org nos horizontes superficiais dos solos, Pereira et al. (2013) observaram em solos de uma topossequência desenvolvida sob calcário da serra da Bodoquena teores de C org variando em relação à posição na paisagem, com maiores teores no topo e baixada, os quais superaram $80,0 \text{ g kg}^{-1}$. Nos horizontes superficiais os teores estão entre $19,7$ e $111,7 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto em subsuperfície entre $5,5$ e $45,9 \text{ g kg}^{-1}$. A distribuição das frações húmicas indicou o predomínio do C-HUM, com mais de 93% do C org, seguido do C-FAF e em menores teores o C-FAH. A soma das frações alcalinosolúveis (C-FAF + C-FAH) foram inferiores a 7% do C org.

Em avaliação de solos desenvolvidos de sedimentos arenosos do rio Taquari (inundável), Schiavo et al. (2012) observaram maiores teores de C org nos horizontes superficiais, destacando a ocorrência de um horizonte com teor de $110,5 \text{ g kg}^{-1}$ e os demais com teores entre $2,9$ e $13,1 \text{ g kg}^{-1}$.

A avaliação dos horizontes superficiais dos solos desenvolvidos de calcário do pedoambiente Capão e Corumbá indica uma relação de causa-efeito pronunciada. Quanto à causa, está o material de origem, propiciando altos teores de cátions trocáveis no completo sortivo e mineralogia do tipo 2:1 e, os organismos, pelo desenvolvimento vegetal e a deposição de matéria orgânica em quantidade significativa. Ao efeito, destaca-se a formação de complexos organominerais de elevada estabilidade e/ou baixa solubilidade.

Aos atributos relacionados à causa, apresentam-se os altos teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e C org (Tabelas 1 e 2), enquanto ao efeito são observados baixos valores da relação EA/HUM (Tabela 2). O uso da relação entre frações alcalinolúveis e humina como estabilidade e/ou insolubilidade da matéria orgânica em solos tem sido destacado nos trabalhos de Fontana et al. (2010, 2011), principalmente para horizontes diagnósticos superficiais A chernozêmicos.

Quanto à estabilidade do complexo organomineral dos solos desenvolvidos de materiais básicos ou alcalinos, é atribuída à formação de pontes com a matriz mineral, podendo ainda estar associado à intensa atividade biológica, que transforma rapidamente a liteira e homogeneiza a massa de solo, promovendo

do a cimentação das partículas minerais e orgânica (BRUCKERT et al., 1994; BRYDON; SOWDEN, 1959; BUOL et al., 1980; DUCHAUFOUR, 1976, 1977; KONONOVA, 1966; MAJZIK; TOMBÁ CZ, 2007; SIX et al., 2000; THENG, 1979).

Duchaufour (1977) relata que a insolubilização da matéria orgânica é proporcionada pelos cátions trocáveis e os minerais de argila 2:1, que promovem a polimerização de moléculas orgânicas solúveis. Ainda, pode estar associada à formação de pontes com a matéria orgânica fresca, principalmente pela demetoxilação e oxidação da lignina em aumento dos grupos funcionais carboxílicos. Ademais, a humina de insolubilização é formada pela precipitação e solubilidade irreversível dos precursores solúveis como compostos fenólicos possivelmente ligados a peptídeos. Este mesmo autor relata que parte da matéria orgânica fresca carboxilada precipita pela ação dos cátions trocáveis com a formação de pontes com os minerais de argila.

Outros trabalhos tem relatado que as frações mais decompostas da matéria orgânica são precipitadas com o Ca^{2+} , levando a diminuição da solubilidade e limitando a mineralização (GAIFFE et al., 1984; MUNEER; OADES, 1989). Não obstante, estudos tem destacado a influência do CaCO_3 como floculante da matéria orgânica (OADES, 1988; SOMBROEK et al., 1993; SPAIN et al., 1983).

Para os solos não relacionados a altos teores de cátions trocáveis, a estabilidade da matéria orgânica está relacionada à presença dos óxidos de ferro e alumínio, que atuam como floculantes (BRUCKERT et al., 1994; OADES, 1988; SOMBROEK et al., 1993; SPAIN et al., 1983), pelas pontes com íons alumínio e ferro com os grupos funcionais da matéria orgânica (OADES, 1995; TOMBÁ CZ et al., 2004). Os óxidos de ferro e os ácidos húmicos participam ativamente da agregação e estabilização dos agregados ao se ligarem com cátions polivalentes como Al^{3+} , Fe^{3+} e Ca^{2+} (TOMBÁ CZ et al., 2004).

A participação dos cátions na estabilização da matéria orgânica pode ser observada quando as amostras de solo são submetidas ao tratamento prévio com solução de HCl ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$) e H_3PO_4 ($2,0 \text{ mol L}^{-1}$). Nos solos sob calcário,

o HCl atua na remoção do CaCO_3 , enquanto, nos solos com elevados teores de Al^{3+} e Fe^{3+} e, ainda a presença de Ca^{2+} ou Mg^{2+} , o H_3PO_4 atua na remoção destes cátions, diminuindo o efeito estabilizante e aumentando a taxa das frações alcalinosolúveis (ALEKSANDROVA, 1960; KONONOVA; BELCHIKOVA, 1961). O tratamento prévio de solos com solução H_3PO_4 promove a ruptura de ligações químicas e solubiliza parte do material húmico (ácidos fúlvicos e húmicos) que está fortemente ligado às argilas, principalmente, formando complexos organominerais em solos como os Chernossolos e Vertissolos, Latossolos e Argissolos (ALEKSANDROVA, 1960; BRUCKERT et al., 1994; KONONOVA; BELCHIKOVA, 1961).

Em estudo com solos da região de Sousa, no estado da Paraíba, Corrêa et al. (2003) observaram o aumento de 300 a 340% para as frações ácidos fúlvicos e húmicos, respectivamente, e redução de 60% da fração humina após o tratamento com HCl, evidenciando a participação do CaCO_3 na formação de humatos e fulvatos de cálcio e magnésio e na estabilização da matéria orgânica.

Aos solos que apresentam uma relação de causa-efeito, os mesmos são destacados como exemplares os perfis MS07, MS10 e MS14 (Figuras 1, 2 e 3), nos quais ocorre participação da matéria orgânica nos processos específicos de formação dos solos, como a carbonatação e melanização, segundo definições apresentadas por Kämpf e Curi (2012).



Figura 1. Horizonte superficial do solo desenvolvido sob calcário. Perfil MS07.



Figura 2. Horizonte superficial do solo desenvolvido sob calcário. Perfil MS10.



Figura 3. Horizonte superficial do solo desenvolvido sob calcário. Perfil MS14.

Fotos: Ademir Fontana.

Para os horizontes subsuperficiais, cuja denominação indica acúmulo iluvial de matéria orgânica (Bh), destacado nos perfis MS01 e MS12 (Figuras 4 e 5), as observações feitas com base na distribuição das frações húmicas não são suficientes para definir a ocorrência do processo de podzolização (queluviação), conforme definições apresentadas por Kämpf e Curi (2012).

No entanto, a observação de baixos teores das frações alcalinosolúveis (FAF e FAH) e baixos valores da relação EA/HUM, indicam padrão diferenciado em relação a estudos com horizontes subsuperficiais Bh de outras regiões do Brasil, sobre formações litorâneas (restinga), formações quartzíticas e sedimentos arenosos diversos, os quais tem destacado o predomínio das frações alcalinosolúveis e com os valores da relação EA/HUM na maioria superiores a 2,0 (BENITES et al., 2001; FONTANA et al., 2010; SCHAEFER et al., 2002).



Figura 4. Horizonte subsuperficial do solo caracterizado como Bh. Perfil MS01.



Figura 5. Horizonte subsuperficial do solo caracterizado como Bh. Perfil MS12.

Fotos: Ademir Fontana.

Conclusões

A fração humina predominou, seguida da fração ácidos húmicos nos pedoambientes Salina e Capão (sedimentos arenosos e calcário), enquanto, para os demais pedoambientes a fração humina é seguida da fração ácidos fúlvicos.

O predomínio das frações alcalinosolúveis foi observado no horizonte A2 do perfil MS03 (Capão) e horizontes A2 e Bw1 do perfil MS17 (Planalto).

Pela distribuição das frações húmicas não foi detectado o acúmulo das frações alcalinosolúveis nos horizontes subsuperficiais caracterizados como Bh dos perfis MS01 e MS12 (Salina).

Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração nas discussões dos pesquisadores Amaury de Carvalho Filho e José Francisco Lumbreras da Embrapa Solos pelas discussões proporcionadas e informações adicionais ao trabalho.

Referências

AB'SABER, A. N. O Pantanal Mato-Grossense e a teoria dos refúgios. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 50, n. 2, p. 9-57, 1988.

_____. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 151 p.

ABRAHÃO FILHO, N. O clima de Mato Grosso do Sul. In: ZONEAMENTO econômico-ecológico do Mato Grosso do Sul: contribuições técnicas, teóricas, jurídicas e metodológicas. Campo Grande, MS: SEMAC, 2010. v. 1, p. 69-73.

ALEKSANDROVA, L. N. The use of sodium pyrophosphate for isolating free humic substances and their organic mineral compounds from the soil. **Soviet Soil Science**, v. 2, p. 190-197, 1960.

ALMEIDA, F. F. M. de; LIMA, M. A. de. **Planalto centro-ocidental e pantanal mato-grossense**: guia da excursão nº 1, realizada por ocasião do XVIII Congresso Internacional de Geografia. Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Geografia, 1959. 169 p.

ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Matéria orgânica e pedogênese. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais & subtropicais. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 65-86.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo**: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 7 p. (Comunicado técnico, 16).

BENITES, V. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MENDONÇA, E. S.; MARTIN NETO, L. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob campos de altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 3, p. 661-674, jul./set. 2001.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal) – PCBAP**: diagnóstico dos meios físicos e bióticos: meio físico. Brasília, DF, 1997. v. 2, t. 1.

BRUCKERT, S.; GAIFFE, M.; BLONDÉ, J. L.; PORTAL, J. M. Fractionnement de la matière organique et analyse des composés humiques des sols calcimagnésiques humifères de Jura (France). **Geoderma**, v. 61, n. 3/4, p. 269-280, Mar. 1994.

BRYDON, J. E.; SOWDEN, J. E. A study of clay-humus complexes of a Chernozemic and Podzol soil. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 39, p. 136-143, 1959.

BUOL, S. W.; HOLE, F. D.; McCracken, R. J. **Soil genesis and classification**. 2nd ed. Ames: Iowa State University Press, 1980. 404 p.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; RUIZ, H. A.; BASTOS, R. S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região de várzeas de Souza (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 311-324, mar./abr. 2003.

DUCHAUFOR, P. Dynamics of organic matter in soil of temperate regions: its action on pedogenesis. **Geoderma**, v. 15, p. 1-40, 1976.

_____. **Pedology**. London: G. Allen & Unwin, 1977. 448 p.

EHRlich, H. L. **Geomicrobiology**. New York: M. Dekker, 1990. 646 p.

FANNING, D. S.; FANNING, M. C. B. **Soil**: morphology, genesis, and classification. New York: J. Wiley & Sons, 1989. 395 p.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. dos; BENITES, V. de M. Classificação de horizontes diagnósticos em níveis hierárquicos inferiores com base nas frações húmicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 2, p. 313-324, mar./abr. 2011.

_____. Quantificação e utilização das frações húmicas como característica diferencial em horizontes diagnósticos de solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 4, p. 1241-1247, jul./ago. 2010.

GAIFFE, M.; DUQUET, B.; TAVANT, H.; TAVANT, Y.; BRUCKERT, S. Stabilité biologique et comportement physique d'un complex argilo-humique placé dans différentes conditions de saturation en calcium ou en potassium. **Plant and Soil**, v. 77, p. 271-284, 1984.

KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (pedogênese). In: KER, J. C.; CURI, N. SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Ed.). **Pedologia**: fundamentos. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. 343 p.

KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in southern Brazil and their application in classification of kaolinite soils. **Geoderma**, v. 29, n. 1, p. 27-39, Jan. 1983.

KONONOVA, M. M. **Soil organic matter**: its nature, its role in soil formation and in soil fertility. 2nd ed. Oxford: Pergamon Press, 1966. 544 p.

KONONOVA, M. M.; BELCHIKOVA, N. P. Rapid methods of determination the humus composition of mineral soils. **Pochvovedenie**, v. 10, p. 75-87, 1961.

MAJZIK, A.; TOMBÁČZ, E. Interaction between humic acid and montmorillonite in the presence of calcium ions II. Colloidal interactions: charge state, dispersing and/or aggregation of particles in suspension. **Organic Geochemistry**, v. 38, n. 8, p. 1330-1340, Aug. 2007.

MUNEER, M.; OADES, J. M. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability, 2. Field studies with ^{14}C -labelled straw, CaCO_3 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. **Australian Journal of Soil Research**, v. 27, p. 401-409, 1989.

OADES, J. M. Recent advances in organomineral interactions: implications for carbon cycling and soil structure. In: HUANG, P. M.; BERTHELIN, J.; BOLLAG, J.-M.; MCGILL, W. B.; PAGE, A. L. (Ed.). **Environmental impact of soil component interactions**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1995. p. 119-134.

_____. The retention of organic matter in soils. **Biogeochemistry**, v. 5, n. 1, p. 35-70, 1988.

PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Formas extraíveis de ferro em solos do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 371-382, 1999.

PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; FONTANA, A.; DIAS NETO, A. H.; MIRANDA, L. P. M. de. Caracterização e classificação de solos em uma topossequência sobre calcário na Serra da Bodoquena, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 1, p. 25-36, jan./fev. 2013.

REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 10., 2012, Mato Grosso do Sul. **Pantanal e Cerrado: guia de campo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Recife: UFRPE, 2012.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013a. 353 p.

SANTOS, R. D. dos; LEMOS, R. C. de; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013b. 100 p.

SCHAEFER, C. E. R.; KER, J. C.; GILKES, R. J.; CAMPOS, J. C.; COSTA, L. M. da; SAADI, A. Pedogenesis on the uplands of the Diamantina Plateau, Minas Gerais, Brazil: a chemical and micropedological study. **Geoderma**, v. 107, n. 3/4, p. 243-269, Jun. 2002.

SCHIAVO, J. A.; DIAS NETO, A. H.; PEREIRA, M. G.; ROSSET, J. S.; SEGRETTI, M. L.; PESSENDA, L. C. R. Characterization and classification of soils in the Taquari river basin - Pantanal region, state of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, n. 3, p. 697-707, maio/jun. 2012.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 3, p. 1042-1049, May 2000.

SOMBROEK, W. G.; NACHTERGAELE, F. O.; HEBEL, A. Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. **Ambio**, v. 22, n. 7, p. 417-426, nov. 1993.

SPAIN, A. V.; ISBELL, R. F.; PROBERT, M. E. **Soil organic matter**. In: SOILS, an Australian Viewpoint. Melbourne: CSIRO; London: Academic Press, 1983. p. 551-563.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**: genesis, composition, reactions. 2nd ed. New York: J. Wiley and Sons, 1994. 512 p.

THENG, B. K. G. **Formation and properties of clay-polymer complexes**. Amsterdam; New York: Elsevier Scientific Publishing, 1979. 343 p.

TOMBÁ CZ, E.; LIBOR, Z.; ILLÉS, E.; MAJZIK, A.; KLUMPP, E. The role of reactive surface sites and complexation by humic acids in the interaction of clay mineral and iron oxide particles. **Organic Geochemistry**, v. 35, n. 3, p. 257-267, Mar. 2004.

VALLADARES, G. S.; BENITES, V. de M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. dos; EBELING, A. G. **Proposta para classificação de organossolos em níveis inferiores com base nas frações húmicas**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2003. 35 p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 2).

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil 1. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.



Solos